

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
LOOMAÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Riin Viigipuu

**INIMTEKKELISE MÜRA JA LINNASTUMISE MÕJU
RASVATIHASE (*PARUS MAJOR*) KÄITUMISELE
HAUDUMISPERIOODIL**

Magistritöö

Juhendaja: Vallo Tilgar

TARTU 2019

Inimtekkelise müra ja linnastumise mõju rasvatihase (*Parus major*) käitumisele haudumisperioodil

Inimtekkelise müra levik üha laieneb ning mõjutab ka linde ja nende käitumist. Selle uuringu eesmärk oli selgitada eri müratüüpide mõju lindude haudumiskäitumisele rasvatihase näitel. Selleks kasutati kahte erinevat levinud müraallikat, mis tekitasid eri tüüpi müra ning mõjutasid ka lindude käitumist erinevalt. Monotoonsem niidukimüra mõjus pigem häirivalt või suhtlust takistavalt, vähendades emase pesaloleku aega, kuid mitte pesakülastuste arvu. Vahelduvam mootorsaemüra vähendas oluliselt emase pesakülastuste arvu, mis on sarnane kiskja mõjule. Lisaks võrreldi haudumiskäitumist linnas ja metsas ning leiti, et linnas alustavad emased rasvatihased päevast väljaskäimist varem kui metsas.

B280 Loomaökoloogia

Märksõnad: inimtekkeline müra, linnastumine, haudumine, rasvatihane

The Effects of Anthropogenic Noise and Urbanization on the Incubation Behaviour of Great Tits (*Parus major*)

Anthropogenic noise is becoming more widespread and affects birds and changes their behaviour. In this study, two common sources of noise were investigated: the lawn mower and the chainsaw. Each produced a different kind of noise and had a different effect on bird behaviour. The monotonous lawn mower noise had a disturbing effect, decreasing the females' time on the nest and the more variable noise of the chainsaw noise decreased the number of times the females visited the nest, which is similar to the effect produced by a predator presentation. In the comparison of incubation behaviour in rural and urban areas, it was found that urban females started their activity (exiting the nest box) earlier than those in forest habitats.

B280 Animal ecology

Keywords: anthropogenic noise, incubation, urbanization, *Parus major*

Sisukord

1. Sissejuhatus.....	5
2. Kirjanduse ülevaade.....	7
2.1. Müra mõju lindudele.....	7
2.1.1. Mõju arvukusele.....	7
2.1.2. Mõju suhtlusele.....	8
2.1.3. Mõju valvsusele ja kisklusriskile.....	10
2.1.4. Füsioloogiline mõju.....	11
2.1.5. Mõju sigimisele.....	12
2.2. Haudumiskäitumise tähtsus ja seda mõjutavad tegurid.....	14
3. Materjal ja metoodika.....	16
3.1. Uurimisobjekti iseloomustus.....	16
3.2. Uurimisala.....	16
3.2.1. Kilingi-Nõmme uurimisala.....	16
3.2.2. Tartu uurimisala.....	17
3.3. Välitööd.....	18
3.4. Andmeanalüüs.....	18
3.5. Töö autori roll.....	19
4. Tulemused.....	20
4.1. Emase pesaloleku aeg.....	20
4.2. Pesakülastuste arv.....	21
4.3. Valvsus.....	22
4.4. Sugupoolte käitumise omavaheline seos.....	22
4.5. Linna ja metsa võrdlus.....	22
5. Arutelu.....	24
5.1. Müra mõju haudumiskäitumisele.....	24
5.2. Haudumiskäitumine linnas ja metsas.....	27
Kokkuvõte.....	29
Summary.....	30
The Effects of Anthropogenic Noise and Urbanization on the Incubation Behaviour of Great Tits (<i>Parus major</i>).....	30
Tänuavaldused.....	31
Kasutatud kirjandus.....	32

1. Sissejuhatus

Inimtegevuse laienemisega suureneb ka tehislik müra keskkonnas. Müral on mõju paljudele elusorganismidele (Kight ja Swaddle, 2011). Müraks võib pidada igasugust häirivat heli (Ortega, 2012). Kuigi segavaid hääli esineb ka looduses, on inimtekkeline müra tunduvalt laiaulatuslikum ning sageli valjem ja püsivam (Kight ja Swaddle, 2011).

Müra mõjutab linde mitmeti: takistab suhtlust ja kiskja märkamist, tekitab stressi, muudab käitumist, võib vähendada sigimisedukust (Ortega, 2012) ja toitumiseefektiivsust (Francis, 2015). Mõju erineb liigiti, mis omakorda tingib muutused kooslustes (Ortega, 2012).

Suhteliselt palju on uuritud müra mõju lindude laulule, kuid teised hääliitsused on suuresti tähelepanu alt välja jäänud. Ometi on partneri valik ja territooriumi kaitsmine vaid üks osa linnu elust ning ka hilisemad sigimisega seotud mõjud väärivad uurimist. Sigimise ajal tehtud uurimused keskenduvad enamasti poegade toitmisele, kuid ka haudumine on vanemale energiakulukas ja loodetele oluline arenguetapp. Samuti keskendutakse sageli ühele müratüübile, kuid müra omadused määravad paljuski selle mõju lindudele (Viigipuu ja Tilgar, 2017).

Selle töö eesmärgiks on selgitada eri tüüpi müra mõju lindude haudumiskäitumisele rasvatihase näitel. Rasvatihane on valitud mudelligiks, sest ta on laialt levinud erineva inimõjuga piirkondades ning asustab meelsasti pesakaste. Müra tüüpidest on valitud suhteliselt monotoonne niidukimüra ja vahelduvama amplituudiga mootorsaemüra. Tegemist on inimtekkeliste müratüüpidega, mis võivad sagedamini esineda metsas, parkides ja aedades, kus esineb ka palju värvulisi, kuid nende müratüüpide mõju värvulistele pole varem uuritud.

Magistritöö korrelatiivne osa võrdleb haudumiskäitumist linnas ja metsas. Ka linnas on müral oluline roll, kuid sellele lisanduvad tehislik elukeskkond, kunstvalgus, keemiline reostus ja sagedasem inimeste liikumine (Sepp *et al.*, 2018). Samuti on linnas kõrgem keskmine temperatuur (Imhoff *et al.*, 2010), mis on teadaolevalt üks olulisemaid haudumiskäitumist mõjutavaid tegureid (Conway ja Martin, 2000; Matysioková ja Remeš, 2010). Toit on linnas kättesaadavam, kuid madalama kvaliteediga (Sepp *et al.*, 2018).

Linna- ja metsatihaste käitumise võrdluses kasutati emase pesaloleku aja mõõtmiseks haudumistemperatuuri registreerivaid andmelogereid. Võrreldes videosalvestistega on selle meetodi eeliseks väiksem töömaht ning puuduseks võimalik ebatäpsus emaslinnu käikude registreerimisel ja potentsiaalne mõju emaslinnu käitumisele. Loger võib mõjutada emaslinnu käitumist, sest metall jahtub munadest kiiremini, kuid võrreldes kurna suurusega on selle

osakaal suhteliselt väike. Temperatuurilogereid on varasemates värvuliste uuringutes edukalt kasutatud (Basso ja Richner, 2015a, 2015b; Matysioková ja Remeš, 2010), samuti selles töös kasutatavat mudelit (Schoenle *et al.*, 2017).

Töö hüpoteesid on, et müra, kas häirimise tõttu või sarnaselt uudsele kiskjale, (1) vähendab emase pesaloleku aega, (2) vähendab nii emase kui isase pesakülastuste arvu ja (3) suurendab valvsust. (4) Eri tüüpi müra mõju on erinev. (5) Logeri lisamine pessa ei kutsu esile muutusi emaslinnu käitumises. (6) Haudumiskäitumine ja päevase aktiivsuseperioodi pikkus erinevad linnas ja metsas elavatel tihastel

2. Kirjanduse ülevaade

2.1. Mõra mõju lindudele

2.1.1. Mõju arvukusele

Mõned linnud väldivad kõrge müratasemega alasid. Kanadas Alberta provintsis näidati 23 uuritud värvuliseliigist seitsmel madalamat arvukust müra tekitavate gaasikompressorite läheduses, võrreldes sarnase inimhõlguva vaiksete gaasipuuraukude ümbrusega (Bayne *et al.*, 2008). Värvuliste üldine asustustihedus oli vaikel aladel 1,5 korda kõrgem kui mürarikastel aladel (Bayne *et al.*, 2008). Sarnane oli mõju kõnnu-kahutikatite (*Myiarchus cinerascens*) ja mägi-sinilindude (*Sialia currucoides*) asustustihedusele (Kleist *et al.*, 2017). Francis *et al.* (2009) leidsid, et kuigi gaasikompressorite ja vaiksete puuraukude ümbruses oli sarnane pesade tihedus, oli siiski kõrgema müratasemega aladel vähem pesitsevaid liike ning erinev liigiline koosseis.

Halfwerk *et al.* (2016) näitasid samuti, et pesakastide asustusprotsent oli madalam, kui nende müratasest oli liiklusmüraalvestise abil tõstetud. Kõige rohkem pesakaste hõivanud liik, rasvatihane (*Parus major*), eelistas selgelt kontrollgrupi pesakaste, samuti puukoristaja (*Sitta europaea*) (Halfwerk *et al.*, 2016). Valiku puudumisel asustasid rasvatihased siiski ka kõrgema mürafooniga pesakaste (Halfwerk *et al.*, 2016). Rasvatihasest väiksemaid ja konkurentsist allajäävaid sinitihaseid (*Cyanistes caeruleus*) leiti aga sagedamini just kõrgema müratasemega pesakastides (Halfwerk *et al.*, 2016). Konkurentsi mõjule viitab ka see, et kui analüüsist jäeti välja rasvatihase poolt asustatud pesakastid, ei sõltunud sinitihase asustustihedus müratasemest (Halfwerk *et al.*, 2016). Konkurentsist allajäämisega seletasid Kleist *et al.* (2017) ka lääne-sinilinnu (*Sialia mexicana*) sarnast asustustihedust müra tekitavate gaasikompressorite lähedal ja kontrollaladel. Koduvarblaste (*Passer domesticus*) puhul müratase pesakastide asustustihedust ei mõjutanud (Schroeder *et al.*, 2012; Meillère *et al.*, 2015b).

Kuna inimtekkeline müra on sageli madala sagedusega, on enim häiritud just sellised linnuliigid, kes kasutavad oma hääliusteks samu sagedusi (Goodwin ja Shriver, 2010). Goodwin ja Shriver (2010) leidsid, et liiklusmüra vähendas kõige enam just valgepõsk-puukoristaja (*Sitta carolinensis*) ja koldnökk-vihmakäo (*Coccyzus americanus*) arvukust,

kelle häälightsuste keskmised sagedused olid ka uuritud liikide hulgast kõige madalamad. Samas ei mõjutanud müra männi-virelinnu (*Vireo plumbeus*) ja hall-virelinnu (*Vireo vicinior*) arvukust, kes mõlemad muutsid oma häälightsuse pikkust ja helikõrgust vastavalt keskkonna müratasemele (Francis *et al.*, 2011). Kleist *et al.* (2017) näitasid, et ka kadakatihase (*Baeolophus ridgwayi*) pesakastivalikut müra ei mõjuta, mida uurijad seletasid samuti väikese kehasuuruse ning suhteliselt kõrge lauluga.

2.1.2. Mõju suhtlusele

Müra takistab häälightsuste kuulmist. Önnepääsukese (*Tachycineta bicolor*) pojad reageerisid toitu toova vanema kutsehüüdudele mangumisega 65 dB-se madalsagedusliku müra taustal vaid 54% kordadest, samas kui tavapärastes oludes oli vastav näitaja 96% (Leonard ja Horn, 2012). Sebra-amadiinidel (*Taeniopygia guttata*) suurenes aga visuaalsete signaalide osatähtsus mürataseme kasvades (Swaddle ja Page, 2007).

Inimtekkeline müra varjutab laulust või muudest häälightsustest eelkõige madalamad sagedused, mis võib viia laulu väiksema kuuldavuse või emase madalama hinnangu isase kvaliteedile (Habib *et al.*, 2006). Pole teada, kas emased hindavad isase kvaliteeti madalamate sageduste kasutamise järgi või on asi madalamate sageduste kaugemale levimises, kuid on näidatud, et sigimishooaja alguses, kui motivatsioon ja lauluaktiivsus on kõrgem, kasutavad rasvatihased oma laulus rohkem madalaid sagedusi (Slabbekoorn ja Ripmeester, 2008) ning ka rootsiitsitajatel (*Emberiza schoeniclus*) on paarilisega isaste laulutüüp kõrgem kui paarilist otsivatel isastel (Gross *et al.*, 2010).

Isastest maasäälikutest (*Seiurus aurocapilla*) leidis müra tekitavate gaasikompressorite läheduses paarilise 77%, aga muu inimtegevuse poolest sarnaste, kuid vaiksete gaasipuuraukude ümbruses 92% (Habib *et al.*, 2006). Ka rootsiitsitajate hulkas oli kõrgema müratasemega aladel rohkem paariliseta isaseid (Gross *et al.*, 2010).

Madalasagedusliku müraga toimetulekuks muudavad paljud linnud oma häälightsusi. Sageli lauldakse laulu madalamad sagedused kõrgemalt, seda teevad näiteks rasvatihased (Slabbekoorn ja den Boer-Visser, 2006), rootsiitsitajad (Gross *et al.*, 2010) ja muusträstad (Mendes *et al.*, 2011; Nemeth ja Brumm, 2009). Laborikatses on näidatud, et linnamüra taustal on kõrgema sagedusega laul paremini kuulda kui madalama sagedusega laul, aga metsahelide taustal ei leitud erineva kõrgusega laulutüüpide eristamises erinevust (Pohl *et al.*, 2012). Samuti on näidatud, et kõrgesagedusliku müra ettemängimisel laulavad rasvatihased laulu kõrgemad sagedused madalamalt (Halfwerk ja Slabbekoorn, 2009).

Lisaks lauldakse linnas sageli kiiremini ja lühemalt, mida on samuti näidatud nii rasvatihasel (Slabbekoorn ja den Boer-Visser, 2006) kui muusträstal (Nemeth ja Brumm, 2009). Aed-karmiinleevikesed (*Carpodacus mexicanus*) laulsid valjema müra taustal madalamad silbid kõrgemalt ja lühemalt, teised silbid pikemalt kui vaiksema müra taustal (Bermúdez-Cuamatzin *et al.*, 2011). Sebra-amadiinid suurendavad oma häälistsuste kiirust ja kõrgust ning vähendavad pikkust ja sagedusjaotust (Villain *et al.*, 2016). Rootsitsitajad aga laulavad liiklusrasvitasel hoopis aeglasemalt (Gross *et al.*, 2010).

Müraga võib kohaneda ka valjemalt lauldes. Brumm (2004) leidis, et lõunaööbik (*Luscinia megarhynchos*) laulab seda valjemini, mida mürarikamat territooriumi ta kaitseb. Samuti suhtlesid kõrgema müratasemega pesakastides sebraamadiinid omavahel valjemate häälistsustega kui vaiksetes (Villain *et al.*, 2016) ja ka viirpapagoid (*Melopsittacus undulatus*) häälitsesid müra taustal valjemini (Manabe *et al.*, 1998). Valjemalt laulmine on efektiivsem kui kõrgemalt laulmine, kuid on energiakulukam ning seetõttu vähem levinud (Cardoso ja Atwell, 2011). Näiteks kuldnokal (*Sturnus vulgaris*) tõuseb hapnikutarbimine 1,16-kordseks 16 dB-se laulu valjuse suurendamisega (Oberweger ja Goller, 2001).

Kuna signaali muutmisel on hind, kasutatakse muutunud signaale tihti ainult siis, kui müra tõesti esineb. Näiteks laulsid lõunaööbikud tööpäevadel, kui müratase oli kõrgem, valjemini kui nädalavahetustel (Brumm, 2004) ja rootsitsitajad laulsid müra ettemängimisel lühemalt, kuid taastasid laulu pikkuse pärast müra lõppu (Gross *et al.*, 2010). Ka aed-karmiinleevikesed muutsid oma laulu vastavalt müratasemele ning kui müratase alanes, taastasid endise laulustuktuuri (Bermúdez-Cuamatzin *et al.*, 2011).

Siiski võib müral olla häälistsustele ka pikemaajalisi mõjusid. Rootsitsitajad laulsid müras madalama aktiivsusega ning see jätkus ka pärast müra lõppu (Gross *et al.*, 2010). Kõrgem müratase sebra-amadiinide pesakastis muutis emase häälistsusi rohkem kui isasel, sest kuigi haudumises osalevad mõlemad vanalinnud, haub öösel emalind üksi ning veetis nii müras rohkem aega (Villain *et al.*, 2016). Rasvatihaselgi viis kõrgem müratase pesakastis emase hilisemale reageerimisele isase laulule, kuid mõju kadus kahe päeva jooksul pärast müra lõppu, samas kui isase käitumuslik muutus laulda pesakastile lähemal püsis (Halfwerk *et al.*, 2012). Samuti püsisid muutused õõnepääsukesepoegade mangumishäälistsustes ka kaks päeva pärast müra lõppu ning kui ka hiljem taastumist ei toimu, võib sel olla kahjulik mõju hilisemale kutsehüüdude arengule (Leonard ja Horn, 2008).

Muutused toimuvad ka populatsiooni tasemel (Slabbekoorn ja den Boer-Visser, 2006). Valgekiird-sidrikute (*Zonotrichia leucophrys*) madalamate sagedustega dialektide kasutamine

on koos liiklusrüüra intensiivsuse tõusuga vähenenud ning allesjäänud dialektide madalamad sagedused on viimase 30 aastaga tõusnud (Luther ja Baptista, 2010). Rasvatihased reageerivad sarnase müratasemega alalt salvestatud laulule tugevamalt kui erineva müratasemega piirkonnast salvestatud laulule (Mockford ja Marshall, 2009).

Müra kahjulikku mõju võib vähendada ka muutes laulmise aega. Dominoni *et al.* (2016) uurisid, kas lennujaama lähedal alustavad linnud laulmist varem, kui sarnase valgusrežiimiga, kuid loodusliku helifooniga aladel. Selgus, et nii punarinnad (*Erithacus rubecula*), musträstad, rasvatihased, sinatihased kui ka metsvindid (*Fringilla coelebs*) hakkasid lennujaama lähedal oluliselt varem laulma, kuid laulurästad (*Turdus philomelos*), käblikud (*Troglodytes troglodytes*) ja kaelustuvid (*Columba palumbus*) mitte (Dominoni *et al.*, 2016). Lisaks leiti, et metsvindid vältisid laulmist lennuki õhukutõusmise ajal, kui müra maksimum ületas 78 dB (Dominoni *et al.*, 2016). Ibeeria kuldnokad (*Sturnus unicolor*) ja koduvarblased hakkasid eksperimendi päevadel, kui linnatänavate liiklusrüratas oli kunstlikult tõstetud, varem laulma, kuid rohevindid (*Chloris chloris*), ohakalinnud (*Carduelis carduelis*), koldvindid (*Serinus serinus*) ja kaelus-turteltuvid (*Streptopelia decaocto*) mitte (Arroyo-Solís *et al.*, 2013). Leekõlg-turpialid (*Agelaius phoeniceus*) aga vältisid tipptunnimüra, jaotades tiheda liiklusega teede ääres laulu päeva peale ühtlasemalt (Cartwright *et al.*, 2014).

2.1.3. Mõju valvsusele ja kisklusriskile

Ootamatu müra peale linnud sageli põgenevad või muutuvad valvsaks (Brown, 1990; Burger, 1998; Conomy *et al.*, 1998; Delaney *et al.*, 1999). Korduv või püsiv müra võib mõjutada kiskja märkamist ja toitumiseefektiivsust. See võib toimuda nii takistatud kuulmise (Mahjoub *et al.*, 2015) kui ka tähelepanu hajumise (Chan ja Blumstein, 2011) kaudu.

Kõrgema müratasemega pesakastis pesitseva sebra-amadiinipaaride omavahelises suhtluses lendas pesakastist väljas olev partner pesakastile lähemale kui madalama mürafooniga pesakastide paaridel (Villain *et al.*, 2016). Sama toimus rasvatihasepaari omavahelises suhtluses enne munemise algust (Halfwerk *et al.*, 2012). See võimaldab paarilistel omavahel tõhusamalt suhelda, kuid suurendab tõenäosust, et kiskjad märkavad pesa kergemini.

Kiskja märkamist võib raskendada nii kaaslaste hääliitsuste (Mahjoub *et al.*, 2015) kui kiskja lähenemise mittekuulmine (Hauser ja Caffrey, 1994). Kuulmistakistus viib suurema vajaduseni ringivaatmiseks, mis jätab toitumiseks vähem aega (Klett-Mingo *et al.*, 2016; Quinn *et al.*, 2006).

Nii metsvindid laborikatses (Quinn *et al.*, 2006) kui rasvatihased toidumajas lennujaama lähedal (Klett-Mingo *et al.*, 2016) kulutasid kõrgema mürataseme ajal vähem aega toitumisele ja rohkem ringivaatamisele kui vaiksematel hetkedel. Ka tanutiirud (*Sterna bergii*) muutusid lennukimüra kuuldes valvsamaks (Brown, 1990).

Sagedasem ringivaatamine võib tulla nii helide mittekuulmisest kui suuremast ohutundest. Tanutiirud, keda 65-85 dB-ne lennukimüra ärevamaks muutis, lahkusid 90-95 dB juures juba pesalt (Brown, 1990). Tähnikkakud *Strix occidentalis lucida* tõusid järjest sagedamini lendu, mida lähemal oli müraallikas (Delaney *et al.*, 1999). Mootorsae mõju oli tugevam kui helikopteril: 60 m kauguselt lendas mootorsaemüra peale ära 72% kakkudest, kuid helikopterimüra korral 20% (Delaney *et al.*, 1999). Hoatsiinid (*Opisthocomus hoazin*) muutusid uurija lähenedes ärevaks ja lendasid ära seda varem, mida valjem oli turismigruppide vestlusest tulenev müra (Karp ja Root, 2009). Samamoodi reageerisid pesitsevad emased koduvarblased liiklusmürale (Meillère *et al.*, 2015a).

Korduva müra korral võib esineda ka harjumist. Tähnikkakkude reaktsioon teistkordsele häiringule oli oluliselt nõrgem kui esmakordsele (Delaney *et al.*, 1999) ning nõgipardid (*Anas rubripes*) reageerisid ülelendavale lennukile esimesel päeval 39% juhtudest, kuid kahe nädala pärast ainult 6% juhtudest (Conomy *et al.*, 1998). Mõrsjapardil (*Aix sponsa*) aga harjumist ei täheldatud (Conomy *et al.*, 1998). Hoatsiinidel takistas müra turismigruppide kohaloluga harjumist (Karp ja Root, 2009).

2.1.4. Füsioloogiline mõju

Müra võib tõsta lindude stressitaset (Blickley *et al.*, 2012b; Chloupek *et al.*, 2009; Hayward *et al.*, 2011; Tilgar *et al.*, 2015) või häirida embrüonaalset arengut (Kesar, 2014; Sanyal *et al.*, 2013). Krooniline stress nõrgendab linnu immuunsüsteemi (Jankowski *et al.*, 2010).

Mänguplatsidel, kus mürataseta kunstlikult tõsteti, oli pujupüükukkede väljaheidetes keskmiselt 16,7% rohkem kortikosteroidide metaboliite (Blickley *et al.*, 2012b). Samuti oli militaarsete harjutusväljakute ja lasketiirude läheduses metsise (*Tetrao urogallus*) väljaheidetes keskmiselt 22% rohkem kortikosterooni metaboliite (Tilgar *et al.*, 2015). Ühetunnine mootorsaemüra 100 m kauguselt aga ei avaldanud olulist mõju tähnikkakkude *Strix occidentalis occidentalis* stressitasemele (Tempel ja Gutierrez, 2003).

Hayward *et al* (2011) näitasid, et müra tõstis glükokortikoidide taset tähnikkakkude *Strix occidentalis caurina* väljaheidetes sõltuvalt soost, sigimisfaasist ja konditsioonist. Kõige

tugevamalt reageerisid häiringule haudumise ajal isased ja poegade toitmise ajal poegadeta emased (Hayward *et al.*, 2011). Kehvemas toitumuses emastel stressitase müraga hoopis langes (Hayward *et al.*, 2011).

Müra mõju võib avalduda juba embrüonaalse arengu ajal. Kesar (2014) leidis inkubaatorikatses, et 110 dB-ne tööstusmüra 15 min/h alates 10. haudepäevast kuni koorumiseni vähendab koorunud tibude kehasuurust ja põhjustab muutusi ajukoe struktuuris. Sarnases katses selgus ka, et enne koorumist müra kuulnud tibudel oli pärast koorumist veres kõrgem noradrenaliinitase, kehvem orienteerumis- ja õppimisvõime ning mälu (Sanyal *et al.*, 2013).

Kõrgema mürafooniga pesakastideskasvanud koduvarblasepojad ei erinenud kontrollpesade poegadest ei kehasuuruse, konditsiooni ega kortikosterooni baastaseme poolest (Angelier *et al.*, 2016; Meillère *et al.*, 2015b). Liiklusmürasalvestise mängimine pesaehitusest lennuvõimestumiseni vähendas siiski 10-päevaste poegade ainevahetuse aktiivsust (Brischoux *et al.*, 2017). Meillère *et al.* (2015) leidsid, et liiklusmürasalvestise taustal kasvanud tibude telomeerid olid lühemad kui tavapärastes tingimustes kasvanutel. Võimalikeks põhjusteks pakkusid autorid poegade potentsiaalselt suuremat aktiivsust või häiritud unerütmi (Meillère *et al.*, 2015b). Linnas kasvanud rasvatihasepojad olid samuti lühemate telomeeridega, hoolimata sellest, kas nad olid koorunud linnas või maal (Salmón *et al.*, 2016). Sebra-amadiinidel on leitud tugev positiivne seos telomeeride pikkuse ja eluea vahel (Heidinger *et al.*, 2012).

2.1.5. Mõju sigimisele

Halfwerk *et al.* (2011) uurisid rasvatihaseid teeäärsel müragradiendil ning leidsid, et iga 20 dB mürataseme tõusu kohta vähenes kurna suurus keskmiselt 10%. Müra vähenemine teest eemaldudes oli ebaühtlane, mis võimaldas eristada müra mõju tee ülejäänud kahjulikest mõjudest (Halfwerk *et al.*, 2011). Kui aga pesakastide müratasest liiklusmürasalvestise abil kunstlikult tõsteti, mõju kurna suurusele ei leitud (Halfwerk *et al.*, 2016). Sarnased on tulemused ka koduvarblastega: müra mõju kurna suurusele ei täheldatud ei generaatorimüra ega liiklusmürasalvestise puhul (Schroeder *et al.*, 2012; Meillère *et al.*, 2015b). Ka lääne-sinilinnu ega kõnnu-kahutikati kurna suurust liiklusmüra salvestise mängimine pesakastis ei mõjutanud (Mulholland *et al.*, 2018). Sebra-amadiinid munesid eksperimentaalselt tõstetud

liiklusmüra tasemega puurides keskmiselt ühe muna rohkem (Potvin ja MacDougall-Shackleton, 2015).

Schroeder *et al.* (2012) ei leidnud erinevusi generaatori lähedal ja vaiksemas ümbruses pesitsevate koduvarblaste massis ega haudumiskäitumises ja Meillère *et al.* (2015) leidsid, et koduvarblaste haudumise aeg ei sõltunud liikluse müra salvestise mängimisest kogu pesitsusperioodi vältel. Kõnnu-kahutikat ei munenud liikluse müra saatel vähem mune, kuid hülgas sagedamini pesa, nii et koorunud poegi oli keskmiselt vähem (Mulholland *et al.*, 2018). Sebra-amadiinide pesitsus nurjus 40-80 dB-se liikluse müra taustal sagedamini kui vaiksetes kontrollpuurides (Potvin ja MacDougall-Shackleton, 2015). Lääne-sinilindudega leiti negatiivne seos pesakasti müra taseme ja poegade koorumisedukuse vahel (Kleist *et al.*, 2018). Rasvatihastel ja koduvarblastel müra mõju koorumisedukusele ei leitud (Halfwerk *et al.*, 2016; Meillère *et al.*, 2015b; Schroeder *et al.*, 2012).

Lundy saarel koduvarblastega läbi viidud uuring näitas, et emaste toitmissagedus müra tekitava elektrigeneraatori lähedal oli madalam, kuid isase toitmissagedus müra tasemest ei sõltunud (Schroeder *et al.*, 2012). Kahepäevaseid poegi vahetati pesade vahel, mis võimaldas eristada pärilikkuse ja kasvukeskkonna mõju. 12-päevaste poegade mass oli väiksem, kui nad olid kasvanud müraga alal, sõltumata sellest, kus nad olid koorunud (Schroeder *et al.*, 2012). Sebra-amadiinide poegade kaalutõus oli kõrgema müra tasemega pesades aeglasem, kuid ajaga erinevus vähenes (Potvin ja MacDougall-Shackleton, 2015). Kõnnu-kahutikatite 12-päevaste poegade mõõtmed ei erinenud kontroll- ja katsepesakastides, kuid müra kasvanud tibus kaalusid rohkem. (Mulholland *et al.*, 2018). Autorid selgitavad seda sellega, et julgemad linnud, kes müra tõttu pesa ei hülga, lasevad end ka poegade toitmise ajal vähem müra häirida (Mulholland *et al.*, 2018). Lääne-sinilindude ning koduvarblaste lennuvõimestunud poegade arvu ning poegade morfoloogilisi parameetreid müra ei mõjutanud (Meillère *et al.*, 2015b; Mulholland *et al.*, 2018).

Tähnikkakkudel *Strix occidentalis caurina* lennuvõimestus kuni 100 m kaugusel kõrgema müra tasemega teest vähem poegi kui samal kaugusel vaiksemast teest (Hayward *et al.*, 2011). Halfwerk *et al.* (2011) leidsid rasvatihastel teeäärse elupaiga negatiivse korrelatsiooni munemis- ja haudumisaegse liikluse müra taseme ning lennuvõimestunud poegade arvu vahel. Halfwerk, Both, ja Slabbekoorn (2016) tõstsid müra tasest pesakasti sees ning erinevust lennuvõimestunud poegade arvust ei leidnud. Mulholland *et al.* (2018) pakkusid üheks võimalikuks seletuseks, et müra tasest pesakasti ümbruses võib olla olulisem kui müra tasest pesakasti sees.

2.2. Haudumiskäitumise tähtsus ja seda mõjutavad tegurid

Haudumine on oluline ja energiakulukas etapp linnu elus (de Heij *et al.*, 2007). Hauduv vanem pakub pesal olles munadele arenguks vajalikku väliskeskkonnast kõrgemat temperatuuri, kuid peab hoolitsema ka enda energiavarude eest (Weathers ja Sullivan, 1989). Keskkonnategurid, nagu õhutemperatuur, toidurohkus ja kisklusrisk, mõjutavad haudumiskäitumist oluliselt (Conway ja Martin, 2000; Matysioková ja Remeš, 2010).

Haudumisega võib tegeleda üks paarilistest või mõlemad (Skutch, 1957). Juhul kui haub üks vanem, on selleks sageli emaslind (Skutch, 1957). 97 sellise Põhja-Ameerika värvuliseliigiga tehtud metaanalüüs näitas, et päevane haudumise aeg on positiivselt seotud emase kehamassi ja emase toitmisega isase poolt (Conway ja Martin, 2000). Välistemperatuuri tõustes suureneb haudeepisoodide ja pesast väljaskäikude pikkus ning väheneb pesakülastuste arv (Conway ja Martin, 2000). Rasvatihaste puhul on näidatud pesaloleku aja negatiivset seost välistemperatuuriga ning positiivset seost kurna suurusega (Matysioková ja Remeš, 2010). Lisatoitmine pikendas emase pesaloleku aega (Boucaud *et al.*, 2016).

Koorumisedukus ei sõltunud emase pesaloleku ajast ei rasvatihasel (Matysioková ja Remeš, 2010) ega sinitihasel (Amininasab *et al.*, 2017), küll aga hangelinnul (*Plectrophenax nivalis*) (Lyon ja Montgomerie, 1985). Samuti sõltus sellest haudumise kestus hangelinnul (Lyon ja Montgomerie, 1985), aga mitte sinitihasel (Amininasab *et al.*, 2017). Sinitihasel leiti positiivne korrelatsioon 4-päevaste poegade kaalu ja emase pesaloleku aja vahel (Amininasab *et al.*, 2017). Teerajale lähemal asuvates pesakastides pikenes haudumisperiood sinitihasel ja lühenes rasvatihasel, kuid koorumisedukusele mõju ei täheldatud (Corsini *et al.*, 2017).

Liikidel, kus haudumisega tegeleb emane ükski, isane sageli toidab teda (Weathers ja Sullivan, 1989). Toitmissagedus on liigiti varieeruv: mõnel juhul sõltub emane täielikult isase toodud toidust, kuid enamasti katab see ainult osa emaslinnu toiduvajadusest (Matysioková *et al.*, 2011). Rasvatihasel on isase toitmiskordade arv päeva jooksul suhteliselt madal ning ei kata emase toiduvajadust (Kluijver 1950). Põhja-Ameerikas 19 liigiga tehtud uuring näitas, et suluspesitsejatel toidavad isaslinnud hauduvaid emaseid sagedamini kui avapesitsejatel ning suluspesitsejatest ise õõnsusi rajavatel liikidel rohkem kui valmis õõnsusi asustavatel (Martin ja Ghalambor, 1998). Samuti leiti positiivne korrelatsioon emase pesaloleku aja ja isase toitmissageduse vahel (Martin ja Ghalambor, 1998), mida sinitihastega ei leitud (Amininasab *et al.*, 2017). Ka hangelindudel on näidatud emase pikemaid toitumisretki isase eemaldamisel (Lyon ja Montgomerie, 1985). Rasvatihastel on näidatud, et isase toitmissagedus on isenditi

väga varieeruv ning negatiivselt seotud välistemperatuuri, kellaaja ja kurna vanusega (Matysioková ja Remeš, 2010). Ka Amininasab *et al.* (2017) leidsid uuringus sinitihastega, et isase toitmissagedus vähenes temperatuuri tõustes ja sigimishooaja edenedes. Toiduvaesematel aastatel oli kvaliteetsemaid territooriume asustavate isaste toitmissagedus suurem, kuid toidurohkuse korral ei sõltunud toitmissagedus territooriumi kvaliteedist (Matysioková ja Remeš, 2010).

97 Põhja-Ameerika värvuliseliiki hõlmavas uuringus leiti, et kisklus suurendab haudeepisoodide ja väljaskäikude pikkust ning vähendab pesakülastuste arvu, kuid pesaloleku aega ei mõjuta (Conway ja Martin, 2000). Kiskja eemaldamisel süsteemist pikenes 12 Arizona värvuliseliigil emase pesalt eemaloleku aeg (Fontaine ja Martin, 2006). 19 Põhja-Ameerika värvuliseliigiga tehtud uuringus leiti, et suurem kisklusrisk vähendab emase pesaloleku aega isase toitmiskordade arvu vähenemise kaudu (Martin ja Ghalambor, 1998). Rasvatihastega tehtud uuring näitas, et suurema kisklusriski korral käib emane rohkem kordi pesalt ära, kuid päeva jooksul kokku kulus haudumisele sama palju aega (Basso ja Richner, 2015b). Kiskja topis koos vastavate ärevushäälitsustega pikendas öist haudumist (Basso ja Richner, 2015b). Teine samade autorite poolt läbi viidud uurimus näitas, et haudeepisoodide arv vähenes kiskja topise juuresolekul (Basso ja Richner, 2015a).

Liikidevaheline võrdlus 19 Põhja-Ameerika värvuliseliigiga näitas, et mida suurem on kisklussurve liigile, seda vähem isane emast toidab (Martin ja Ghalambor, 1998). Arizonas 12 värvuliseliigiga läbiviidud uuring näitas, et kiskjate eemaldamisel isase toitmiskordade arv suurenes (Fontaine ja Martin, 2006). Kääbus-puukoristaja (*Sitta pygmaea*), valgekulm-puukoristaja (*Sitta canadensis*) valgepõsk-puukoristaja, mägitihase (*Poecile gambeli*) ja ameerika porri (*Certhia americana*) isaslinnud toidavad hauduvat emast kiskja topise juuresolekul vähem (Ghalambor ja Martin, 2002). Isased rasvatihased aga suurendasid toitmiskordade arvu vanalinde ohustava raudkulli (*Accipiter nisus*), kuid mitte pesi rüüstava kärbi (*Mustela erminea*) topise juuresolekul (Basso ja Richner, 2015a).

Suuremat kisklusriski tajunud emane rasvatihane kaotas haudumise ajal rohkem kaalu (Basso ja Richner, 2015b). Isased pojad koorusid nii emastest kui kontrollgrupi isastest kergematena kuid lennuvõimestumise ajaks erinevused kadusid (Basso ja Richner, 2015b).

3. Materjal ja metoodika

3.1. Uurimisobjekti iseloomustus

Rasvatihane (*Parus major*) on 16-20 g kaaluv monogaamne värvuline tihaslaste (*Paridae*) sugukonnast (Cramp ja Perrins, 1993). Ta on üle Eesti levinud hulgu- ja paigalind (Telve, 2018). Loodusmaastikku asustavad populatsioonid on enamasti rändsed, linnades elavad peamiselt paiksed linnud (Telve, 2018). Pesitsusaegne arvukus on 300 000-400 000 paari (Telve, 2018).

Emane ja isane on omavahel välimuse järgi kergesti eristatavad. Isasel on üle rinnaesise ja kõhu jooksev must triip laiem ning ulatub ka jalgadest edasi, emasel aga kitsam ja lõppeb jalgade juures (Perrins, 1979).

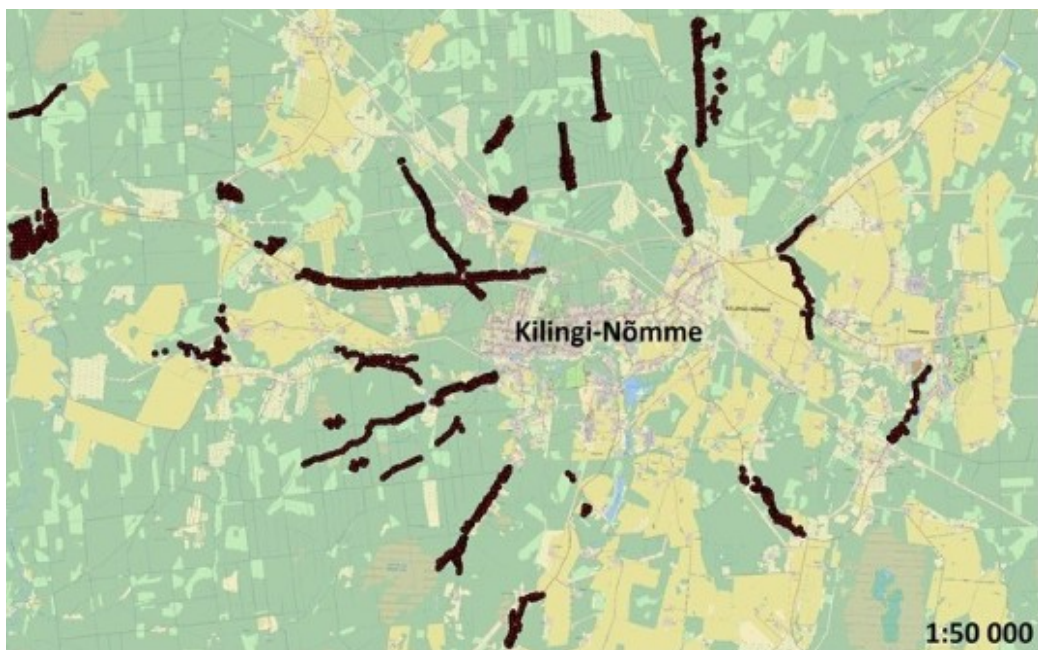
Rasvatihane pesitseb õõnsustes ning asustab meelsasti ka pesakaste (Perrins, 1979). Pesa ehitab emaslind (Cramp ja Perrins, 1993). Kurnas on 7-15 muna, haudumine algab pärast viimase muna munemist, vahel ka varem. Mune haub emaslind üksi (Cramp ja Perrins, 1993). Haudumise kestus võib varieeruda 10-22 päeva vahel, kuid on enamasti 13-14 päeva (Cramp ja Perrins, 1993). Haudumise ajal isane toidab emast kas pesakastis, pesakastiaval või pesakasti ümbruses (Cramp ja Perrins, 1993).

3.2. Uurimisala

3.2.1. Kilingi-Nõmme uurimisala

Uurimisala (joonis 1) asub Edela-Eestis Kilingi-Nõmme linna ümbruses (58°7' N, 25°5' E) ja koosneb nii okas- kui lehtmetsalaikudest. Okasmetsades on domineerivad puuliigid harilik mänd (*Pinus sylvestris*) ja harilik kuusk (*Picea abies*), lehtmetsades hall lepp (*Alnus incana*) ja arukask (*Betula pendula*). Lehtmetsad on rikkaliku alusmetsaga ning okaspuumetsadest fragmentaarsemad.

Pesakastid paiknevad liinidena teede ning metsasihtide ääres ja on paigutatud puutüvedele 1,5-1,8 m kõrgusele maapinnast. Pesakastide vahe on 50-60 m ning nende arv liinis ulatub paarikümnest kuni paarisajani. Pesakasti sisemõõtmed on 11 x 11 x 30 cm ning pesakastiava läbimõõt 3,5-4 cm.



Joonis 1: Kilingi-Nõmme uurimisala kaart. Mustaga on märgitud pesakastiliinid, rohelisega mets ja kollasega põllumajandusmaa (Timm, 2018).

3.2.2. Tartu uurimisala

Tartu uurimisala ($58^{\circ}22' \text{ N}$, $26^{\circ}44' \text{ E}$) (joonis 2) koosneb 66 pesakastist, mis on paigutatud puudele tänavate äärde või parki ning raudteeäärse müratõkkeseina külge. Peamised puuliigid on tamm (*Quercus robur*), suurelehine pärn (*Tilia platyphyllos*) ja harilik pärn (*Tilia cordata*). Pesakastide vahe on 50-60 m, kõrgus 2,2-2,5 m. Pesakasti sisemõõtmed on 11 x 11 x 35 cm ning pesakastiava läbimõõt 3,5-4 cm.



Joonis 2: Tartu uurimisala kaart, mõõtkava 1:30 000. Pesakastide asukohad on märgitud punasega (Art Villem Adojaan, aluskaart Google Imagery)

3.3. Välitööd

Välitööd viidi läbi 2018. aasta kevadel. Pesakaste kontrolliti regulaarselt, et tuvastada munemise algusaeg, kurna suurus ja koorunud poegade arv.

Käitumiskatse viidi läbi alates viiendast haudepäevast. Pesad valiti juhuslikult loosimise teel, kuid valikust jäeti välja tihedama liiklusega teede lähedal paiknevad pesakastid, et vältida liiklusmüra segavat mõju katsedisainile. Iga pesa filmiti kahel päeval: ühel päeval katse- ja teisel päeval kontrollfaasis. Faaside järjekord loositi. Kaamera (Canon Legria HFM506) asetati statiivile 5-10 m kaugusele pesakastist. Kontrollfaasi puhul järgnes filmimine 2 tunni ja 15 minuti jooksul ilma täiendava häirimiseta. Katsefaasis paigutati 15-20 minutit pärast filmimise algust (peale katse-eelse faasi lõppu) pesakasti lähedusse kõlar (Yamaha PDX-B11), mis mängis niiduki- või mootorsaeheli. Kõlar asetati pesakasti kõrgusele, pesakastist 1-2 m kaugusele, suunaga pesakastist mööda. Müratase pesakasti juures, umbes ühe meetri kaugusel kõlarist, oli 75 dB. Kahe tunni möödudes eemaldati kõlar, vahetati kaamera aku ning jätkati filmimist veel kahe tunni jooksul.

Lisaks asetati Tartus seitsmesse ja Kilingi-Nõmme uurimisalal üheksasse pesakasti temperatuuri registreerivad logerid (Thermochron iButton DS1921G-F5). Loger paigutati munade vahele ning see oli peenikese traadiga kinnitatud raskuse külge takistamaks linnul logeri pesast eemaldamist. Raskus (tavaliselt mutter või polt) asetati pesakasti ja pesamaterjali vahele. Loger mõõtis temperatuuri iga ühe või kahe minuti tagant. Tartu uurimisalal valiti pesakastid tihedama liiklusega teede ääres (Õnne, Sõbra ja Väike-Kaare tänav). Õnne ja Väike-Kaare tänava aasta keskmine päevane müratase on 60 dB ja Sõbra tänaval 65 dB (Maaamet, 2019). Kilingi-Nõmme uurimisalal paigutati logerid pesakastidesse, kus toimus ka filmimine, et selgitada välja logeri efektiivsus emase käikude registreerimisel ja võimalik mõju emaslinnu käitumisele.

3.4. Andmeanalüüs

Videosalvestistelt määrati nii emas- kui isaslinnu pesakasti sisenemine ja väljumine. Iga pesa sisenemine loeti külastuskorraks. Emaslinnu sisenemiste ja väljumiste põhjal arvutati emase haudumisele kulunud aeg. Valvsusena määrati aeg, mis linnul kulus pesakasti sisenedes või

sealt väljudes ringivaatamisele. Iga filmimise esimesed 15-20 minutit analüüsiti eraldi katseelse faasina, et kindlaks teha katse ülespaneku võimalik mõju lindude käitumisele.

Logerite puhul hinnati graafikult emase pesalt lahkumiste arv ning hommikuse esimese väljumise ja öhtuse viimase sisenemise kellaaeg. Aktiivse aja pikkus arvutati öhtuse viimase sisenemise ning hommikuse esimese väljumise vahena.

Statistilised analüüsid viidi läbi kasutades tarkvara R 3.4.2 (R Core Team, 2017). Emase pesal oldud aja kui sõltuva tunnuse jaoks kasutati Box-Cox transformatsiooni, astendajaga 1,6, et tagada mudeli jääkide normaaljaotus. Mudelisse kaasatud kovariaadid - kurna suurus ja faasi pikkus - standardiseeriti funktsiooniga *scale* ning nende mõju tugevuse hindamiseks kasutati standardiseeritud regressioonikoefitsiendi b (β) väärtust. Juhuslikku faktorit sisaldavate mudelite analüüsiks kasutati funktsiooni *lmer* paketist *lme4* (Bates *et al.*, 2019). Logeri andmete analüüsil olid sõltuvateks tunnusteks emase aktiivsusperioodi pikkus, hommikul esimese pesakastist väljumise ja öhtul viimase sisenemise aeg. Nende sõltuvate tunnuste puhul olid mudeli jäägid normaaljaotusega. Normaaljaotuse testimiseks kasutati Shapiro-Wilk testi.

Kuna sõltuvate tunnuste - pesakülastuste arvu ja valvsuse - puhul oli standardhälve suurem kui aritmeetiline keskmine, kasutati selliste mudelite analüüsiks negatiivset binoomjaotust eeldavat funktsiooni *glmer.nb* paketist MASS (O'Hara ja Kotze, 2014; Venables *et al.*, 2002). Sugupoolte käitumist analüüsiti eraldi.

Kõikidesse mudelitesse kaasati juhusliku faktorina pesa. Algselt kaasati ka elupaik (okas- või lehtmets), faasi pikkus, kurna suurus, munemise algusaeg, haudepäev, päeva keskmine temperatuur ning katse alguse aeg päikesetõusu suhtes. Mitteolulised kovariaadid ($p > 0,05$) ja lisafaktorid ($p > 0,05$) eemaldati mudelist lihtsustamise käigus. Linna- ja metsatihaste käitumistunnuste võrdluses kasutati kovariaatidena ka päikesetõusu ja -loojangu aega.

Faktorite mõju tugevuse hinnangute ja standardvigade leidmiseks kasutati funktsiooni *summary*. Paariviisilisteks võrdlusteks kontrollgrupiga kasutati Dunnetti *post-hoc* testi, kasutades paketti *lsmeans* (Lenth, 2018). χ^2 saadi funktsiooniga *Anova* (tüüp III) paketist *car* (Fox *et al.*, 2018).

3.5. Töö autori roll

Töö autor osales katse planeerimisel, viis läbi pooled filmimised ning koostas videomaterjali põhjal andmetabeli. Hilisem andmeanalüüs viidi läbi autori poolt juhendaja abiga.

4. Tulemused

4.1. Emase pesaloleku aeg

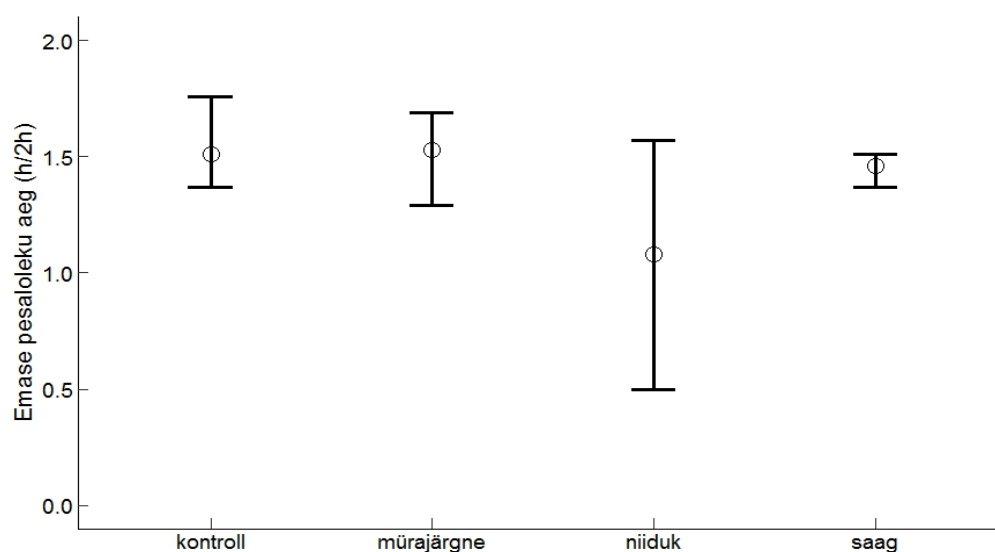
Emane kaldus niidukimüra ajal vähem aega pesal viibima kui kontrollfaasis (tabel 1, joonis 3). Mootorsaemüra mõju haudumise ajale ei leitud (tabel 1, joonis 3). Samuti ei erinenud kontrollist mürajärgne ega katse-eelne faas. Kurna suuruse ja pesaloleku aja vahel oli positiivne korrelatsioon (tabel 1).

Tabel 1. Emase pesaloleku aeg; b tähistab regressioonikordajat, SE standardviga.

	b	SE	χ^2	p
Faas			8,89	0,064
Kurna suurus	0,11	0,04	6,21	0,013

Dunnetti *post-hoc* test võrdluses kontrollfaasiga

Katseeelne	0,12	0,36	0,978
Niidukimüra	-0,46	0,18	0,053
Mootorsaemüra	-0,05	0,21	0,986
Mürajärgne	0,02	0,16	0,998
N	26 pesa (120 vaatlust)		



Joonis 3: Emase pesaloleku aeg kahe tunni jooksul. Punktide tähistavad mediaane ning joonte otspunktid alumist ja ülemist kvartiili. Mediaanid on arvutatud algandmetest, võrdluses kasutati ainult 2h pikkuseid faase.

4.2. Pesakülastuste arv

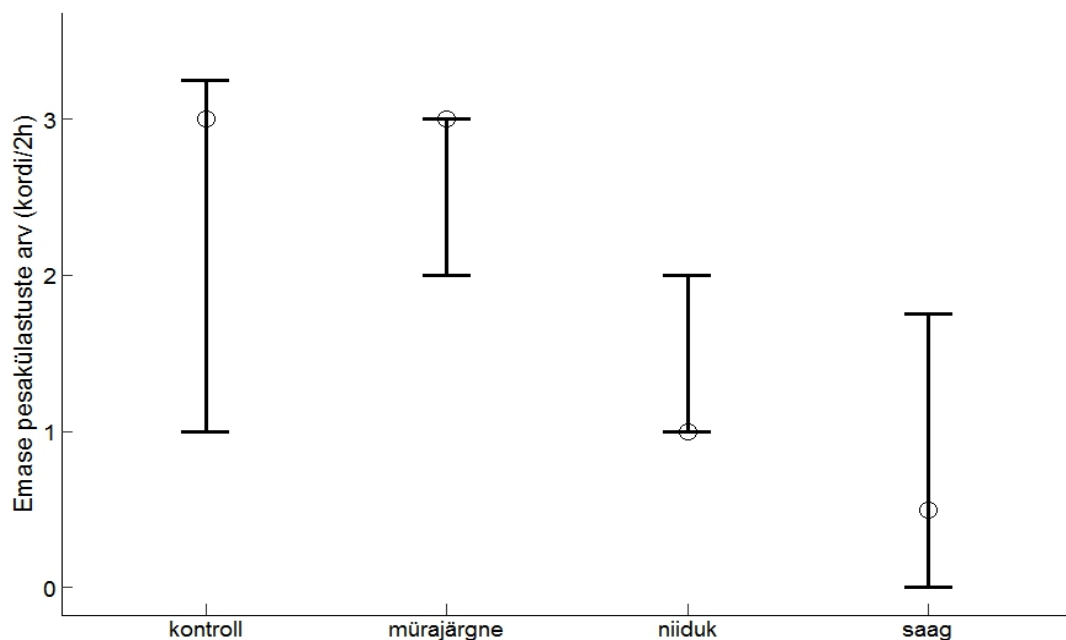
Mootorsaemüra ajal sisenes emane pessa harvemini kui kontrollfaasis, niidukimüra olulist mõju ei avaldanud (tabel 2, joonis 4). Isase pesakülastuste arvus olulisi erinevusi ei leitud, kuid esines emasega sarnane tendents (tabel 2). Mürajärgne ja katse-eelne faas kontrollfaasist ei erinenud (tabel 2, joonis 4).

Tabel 2. Pesakülastuste arv, b tähistab regressioonikordajat, SE standardviga

	Emane				Isane			
	b	SE	χ^2	p	b	SE	χ^2	p
Faas			13,43	0,009			5,43	0,246

Dunnetti *post-hoc* test võrdluses kontrollfaasiga

Katseeelne	-1,07	0,58	0,199*	-0,64	1,13	0,908
Niidukimüra	-0,57	0,27	0,106*	-0,36	0,39	0,736
Mootorsaemüra	-1	0,36	0,022*	-1,63	0,74	0,091
Mürajärgne	-0,03	0,36	0,995*	-0,34	0,33	0,676
N	26 pesa (122 vaatlust)			26 pesa (122 vaatlust)		



Joonis 4: Emase pesakülastuste arv kahe tunni jooksul. Punktid tähistavad mediaane ning joonte otspunktid alumist ja ülemist kvartiili. Mediaanid on arvutatud algandmetest, võrdluses kasutati ainult 2h pikkuseid faase.

4.3. Valvsus

Valvsus ei erinenud faaside vahel (tabel 3). Kuna valvsust mõõdeti pesaaval, oli oluline mõju pesakülastuste arvul (tabel 3).

Tabel 3. Valvsus, b tähistab regressioonikordajat ja SE standardviga.

	Emane				Isane			
	b	SE	χ^2	p	b	SE	χ^2	p
Faas			1,29	0,863			6,7	0,153
Pesakülastuste arv	0,49	0,19	6,77	0,001	0,82	0,19	19,21	<0,001
N	26 pesa (120 vaatlust)				26 pesa (120 vaatlust)			

4.4. Sugupoolte käitumise omavaheline seos

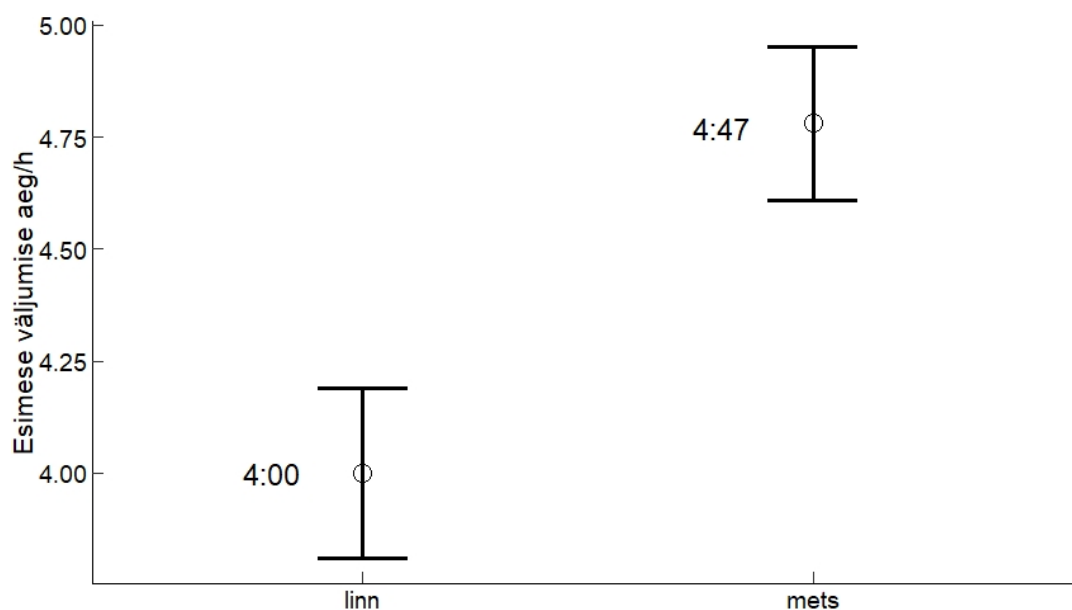
Emase pesal oldud aja ja isase toitmiskordade arvu vahel olulist seost ei leitud, kuigi esines mitteoluline positiivne korrelatsioon ($\chi^2=3,25$, $N=26$, $p=0,071$). Emase ja isase külastuskordade ($\chi^2=0,09$, $N=26$, $p=0,76$) ega emase ja isase valvsuse ($\chi^2=1,6$, $N=26$, $p=0,205$) vahel seost ei leitud.

4.5. Linna ja metsa võrdlus

Linnas väljusid rasvatihased hommikul esimest korda pesakastist varem kui metsas (tabel 4, joonis 5), kuid õhtuse viimase sisenemise (tabel 4) ning päevase aktiivsuse pikkuse vahel ($\chi^2=0,37$, $N=8$ ($N_{\text{mets}}=4$, $N_{\text{linn}}=4$), $p=0,545$) elupaikade vahel olulist erinevust ei leitud. Oluline mõju hommikusele esimesele väljumisele oli ka päikesetõusu kellaajal, kuupäeval ning haudepäeval (tabel 4). Emase pesakülastuste arv ei erinenud linna ja metsa vahel ($\chi^2=0,36$, $N=11$ ($N_{\text{mets}}=6$, $N_{\text{linn}}=5$), $p=0,546$). Samuti ei erinenud emase pesaloleku aeg logeriga ja ilma logerita pesades ($\chi^2=0,83$, $N=26$ ($N_{\text{loger}}=7$, $N_{\text{ilma}}=19$), $p=0,999$).

Tabel 4. Hommikune esimene pesakastist väljumine ja õhtune viimane sisenemine, b tähistab regressioonikordajat ja SE standardviga.

	b	SE	χ^2	p
Esimene väljumine hommikul				
Elupaik (referents = linn)	1,53	0,3	26,12	<0,001
Päikesetõus	-73,92	20,48	13	<0,001
Kuupäev	-1,92	0,76	13	<0,001
Haudepäev	0,23	0,08	7,92	0,005
Viimane sisenemine õhtul				
Elupaik (referents = linn)	-10,56	6,5	2,64	0,104
Päikeseloojang	41,63	25,33	2,7	0,1
Kuupäev	-1,43	0,91	2,48	0,115
N	10 pesa (17 vaatlust)			



Joonis 5: Emase esimese pesakastist väljumise aeg hommikul. Punktid tähistavad keskmisi, jooned standardviga. Punktide kõrval on märgitud gruppide keskmised esimese väljumise kellaajad.

5. Arutelu

5.1. Müra mõju haudumiskäitumisele

Eri tüüpi müra mõjutas lindude käitumist erinevalt. Emase pesaloleku kestust vähendas peaaegu oluliselt niidukimüra, kuid mitte mootorsaemüra. Pesakülastuste arvu vähendas mootorsaemüra, aga mitte niidukimüra. Seos joonistub selgemalt välja emase puhul, kuid sarnane tendents on ka isasel.

Emane veetis niidukimüra ajal vähem aega pesal, kuid pesakülastuste arv ei vähenenud. Seega viibis emane keskmiselt iga pesalt lahkumise puhul kauem aega pesast eemal. Lühem pesakastis viibimise aeg võib tuleneda müra häirivast mõjust. Samas sarnane külastuskordade arv võrreldes kontrollfaasiga näitab, et emane otseselt ei karda niidukimüra. Villain *et al.* (2016) tõstsid sebra-amadiinide haudumise ajal mürataset pesakastis tuulemüha abil 15 tunniks 64 dB-ni ja leidsid, et paarilised veetsid vähem aega koos pesakastis. Müra häirivale mõjule viitab ka asjaolu, et mitmed linnuliigid, kes müraga alasid ei väldi, pesitsevad siiski müratekitava kompressoriga gaasipuuraukudest oluliselt kaugemal kui vaiksetest (Francis *et al.*, 2009).

Mitmetes uurimustes on näidatud, et müra takistab suhtlust paariliste vahel ja poegadega (Leonard ja Horn, 2012; Villain *et al.*, 2016). Sealjuures on eriti tugev just pideva müra (nagu niidukimüra) mõju, sest vahelduvamad müraallikad jätavad vaiksemaid hetki, mis võimaldavad üksteist kuulda (Viigipuu ja Tilgar, 2017).

Toiduga pesakastile lähenev isane annab emasele endast häämitsusega märku ning emane vastab (Kluijver, 1950). Kui emane ei vasta, lahkub isane koos toiduga (Kluijver, 1950). Kui emane vastab, isane kas siseneb pesakasti või tuleb emane välja ning toidupala antakse üle (Kluijver, 1950). Õõnepääsukeste puhul on näidatud, et müra taustal vastavad pojad toitu toova vanema kutsehüüdudele mangumisega vaid 54% juhtudest, samas kui tavapärastes oludes teevad nad seda 96% juhtudest (Leonard ja Horn, 2012). Ka rasvatihase emaslind annab isasele mangumishäälitusega oma toiduvajadusest märku (Boucaud *et al.*, 2016). Müra tõttu võib emasel isase kutsehüüd kuulmata jääda või siis ei kuule isane vastust. Mõlemal juhul saab emaslind isaselt vähem toitu. Müra negatiivsele mõjule rasvatihase

paarilistevahelisele suhtlusele viitab ka, et kui pesakasti mürataset liiklusraskestuse abil tõsteti, vastas emane isasele hiljem kui vaikeses pesakastides (Halfwerk *et al.*, 2012).

Mitmed uuringud on näidanud positiivset seost emase pesaloleku aja ja isase toitmissageduse vahel (Lyon ja Montgomerie, 1985; Martin ja Ghalambor, 1998). Sinitihastega seost ei leitud (Amininasab *et al.*, 2017), käesolevas töös leiti mitteoluline positiivne korrelatsioon. Isase toitmissagedust jälgiti videosalvestistelt ning toitmine pesakastist eemal jäi tuvastamata. Seega on võimalik, et kuigi niidukimüra ei mõjutanud ei emase ega isase pesakülastuste arvu, vähendas see suhtlustakistuste tõttu isase toitmiskordade arvu ning emase pikem äraolek tuli vajadusest ise toidu leidmisele rohkem aega kulutada.

Kurna suuruse ja haudumisele kulutatud aja vahel leiti positiivne korrelatsioon, mis on kooskõlas varasemate töödega (Jones, 1987; Matysioková ja Remeš, 2010). Suurema kurna haudumisel on suurem energiakulu (de Heij *et al.*, 2006).

Mootorsaemüra ei mõjutanud emase pesaloleku aega, küll aga vähendas oluliselt pesakülastuste arvu ning sarnane mitteoluline tendents esines ka isase toitmiskordade arvus. See viitab, et lindude reaktsioon mootorsaemürale on sarnane reaktsiooniga kiskjale. Mitmed uuringud erinevate liikidega, sealhulgas rasvatihastega, on näidanud, et suurem kisklusrisk vähendab pesakülastuste arvu (Basso ja Richner, 2015a; Conway ja Martin, 2000; Fontaine ja Martin, 2006; Martin ja Ghalambor, 1998). Samas on rasvatihastega näidatud ka vastupidist: kiskja läheduses emase pesakülastuste arv suureneb; isase toitmiskordade arv ei muutu (Basso ja Richner, 2015b).

Müratüüpide erinev mõju võib lisaks müra enda omadustele tulla ka müraallika tähendusest linnu elus. Tähnikkakud reageerisid mootorsaele tugevamalt kui ülelendavale helikopterile (Delaney *et al.*, 1999). Pujupüüde arvukust mänguplatsidel vähendas liiklusraskestuses rohkem kui gaasipuurimisheli (Blickley *et al.*, 2012a). Mõlemal juhul on võimalik, et erinevus on müra tüübis, kuid võib ka olla, et pujupüüd on õppinud liiklust ohuga seostama (Blickley *et al.*, 2012a) ja tähnikkakkudele seostub mootorsaag tugevamalt inimtegevusega (Delaney *et al.*, 1999). Siiski pole teada, mis ulatuses on taoline õppimine võimalik rasvatihase kui oluliselt lühema elueaga linnu puhul.

Hüpotees, et müra suurendab lindude valvsust, ei leidnud kinnitust. Seda on näidatud tähnikkakkudel (Delaney *et al.*, 1999), tiirudel (Brown, 1990; Burger, 1998), metsvintidel (Quinn *et al.*, 2006), aga ka rasvatihastel (Klett-Mingo *et al.*, 2016). Siiski pole valvsuse suurenemine välistatud, sest videosalvestiselt sai hinnata vaid tegevust, mis leidis aset

pesakasti aval ja selle vahetus ümbruses. Linnud võisid veenduda olukorra ohutuses juba enne pesaavale maandumist, et siis suurema ohutunde korral pesaskäimiste arvu vähendada.

Müra mõju rasvatihase sigimisedukusele pole päris selge. Halfwerk *et al.* (2011) leidsid negatiivse korrelatsiooni munemis- ja haudumisaegse mürataseme ja lennuvõimestunud poegade arvu vahel, kuid eksperimentaalne uuring liiklusriskide ettemängimisega ei kinnitanud esialgset tulemust – Halfwerk *et al.* (2016) ei leidnud mõju ei kurna suurusele, koorunud poegade arvule ega ka lennuvõimestunud poegade arvule. Autorid pakkusid ühe võimaliku seletusena, et müra võib mõjutada linde pesakastist väljaspool, näiteks toitumiseefektiivsuse kaudu (Halfwerk *et al.*, 2016). 183 liiki hõlmav metaanalüüs näitas, et loomtoidulised linnuliigid on mürale tundlikumad kui taim- ja segatoidulised (Francis, 2015), mis samuti viitab müra häirivale mõjule toidu leidmisel. Kõnnu-kahutikatid hülgasid kõrgendatud müratasemega pesakastides sagedamini pesa (Mulholland *et al.*, 2018) ning ka sebraamadiinide pesitsus nurjus sagedamini kõrgema mürafooniga puuris (Potvin ja MacDougall-Shackleton, 2015).

Niidukimüra vähendas peaaegu oluliselt emase pesaloleku aega. Matysioková ja Remeš (2010) seost emase pesaloleku aja ja poegade koorumisedukuse vahel ei leidnud. Tegu oli korrelatiivse uurimusega, seega pole välistatud, et kui pesaloleku aega vähendab mõni väline faktor, näiteks müra, negatiivne mõju siiski esineb.

Mootorsaemüra suurendas lindude ohutunnet, mis viis väiksema pesaküllastuste arvuni. Basso ja Richner (2015a) leidsid, et suuremat kisklusriski tajunud emased kaotasid haudumise ajal rohkem kaalu kui kontrollgrupi emased, kuigi haudumise kestus ei muutunud. Samuti koorusid isased pojad kergematena kui emased ja kontrollgrupi isased, kuid lennuvõimestumise ajaks erinevused kadusid (Basso ja Richner, 2015b). Seega võib arvata, et mootorsaemüra mõjutab eelkõige vanalindude konditsiooni, aga ka järglasi. Müra negatiivset mõju loote arengule on näidatud ka vanemate käitumisest sõltumatult (Kesar, 2014; Sanyal *et al.*, 2013).

Mitmetel linnuliikidel on leitud müra seost kõrgema stressitasemega (Hayward *et al.*, 2011; Blickley *et al.*, 2012b; Tilgar *et al.*, 2015; Kleist *et al.*, 2018). Nii õõnepääsukestel kui leekõlg-turpialitel on näidatud negatiivset seost haudumisaegse glükokortikoidide taseme ja kurna suuruse vahel (Bonier *et al.*, 2009; Schoenle *et al.*, 2017). Seega võib müra mõjutada vanalindude edaspidiseid sigimisega seotud otsuseid. Leekõlg-turpialitega on näidatud negatiivset korrelatsiooni glükokortikoidide taseme ning haudumisele kulutatud aja vahel (Schoenle *et al.*, 2017), kuid kunstlikult tõstetud kortikosteroonitase rasvatihastel suurendas

emastel haudumisele kulutatud aega ja isastel emase toitmist (Ouyang *et al.*, 2013). Samuti võib müra tõttu langeda hinnang territooriumi kvaliteedile (Halfwerk *et al.*, 2011).

Emase pesal oldud aja ja isase toitmiskordade arvu vahel seost ei leitud, kuigi esines mitteoluline positiivne korrelatsioon. Mitmetel liikidel on vastav seos leitud (Martin ja Ghalambor, 1998), kuid sinitihasel mitte (Amininasab *et al.*, 2017). Emase ja isase külastuskordade arvu ega valvsuse vahel seost ei leitud.

5.2. Haudumiskäitumine linnas ja metsas

Temperatuurilogereid on haudumiskäitumise uurimiseks kasutatud nii leekõlg-turpialitel (Schoenle *et al.*, 2017) kui rasvatihastel (Basso ja Richner, 2015a, 2015b; Matysioková ja Remeš, 2010). Logerid ei mõjutanud emase käitumist ning emase pesalt lahkumise korrad olid temperatuurigraafikult kergesti tuvastatavad. Kuigi mõned logerid nihutati pesast välja, oli rohkem neid pesi, kus mõõtmine õnnestus, nii et nende kasutamist haudumiskäitumise uuringutes võib lugeda õigustatuks.

Linnas väljusid tihased esimest korda pesakastist oluliselt varem, kuid päevase aktiivsuse pikkuse ja öhtuse viimase pesakasti sisenemise osas olulist erinevust ei leitud. Sarnaseid tulemusi on näidatud muusträstastega: linnas muutusid musträstad hommikul oluliselt varem aktiivsemaks, öhtune aktiivsuse lõpp oli hilisem ja päevane aktiivne aeg pikem (Dominoni ja Partecke, 2015). Seos oli tugevam hommikul kui öhtul, mida autorid põhjendasid hommikuse valguse suurema mõjuga laululindudele (Dominoni ja Partecke, 2015). Sama tulemuse andis laborikatse isaste rasvatihastega: kuigi nii hommikune aktiivsuse algus muutus öise valguse intensiivsuse suurendamisel varasemaks kui ka öhtune aktiivsuse lõpp hilisemaks, oli hommikul seos tugevam ning öhtul varieeruvus suurem (de Jong *et al.*, 2016). Lisavalgus pesakastis vähendas emaste rasvatihaste und 56%: pikenes nii aeg öhtuse pesakasti sisenemise ja magamajäämise kui ka hommikuse ärkamise ja pesakastist väljumise vahel (Raap *et al.*, 2016). Öhtune pesakasti sisenemise aeg ei muutunud, küll aga muutus varasemaks hommikune pesakastist väljumise aeg (Raap *et al.*, 2016).

Emase pesakülastuste arv linnas ja metsas ei erinenud. Käesolevas töös temperatuuril olulist mõju ei leitud. Müra mõju puudumine on sarnane koduvarblastega leitule (Meillère *et al.*, 2015a; Schroeder *et al.*, 2012).

Kokkuvõtteks võib öelda, et töö hüpoteesid leidsid osaliselt kinnitust. (1) Niidukimüra vähendas peaaegu oluliselt emase pesaloleku aega, kuid mootorsaemüra mitte. (2)

Mootorsaemüra vähendas oluliselt emase pesakülastuste arvu; isasel mõju ei leitud, kuigi esines emasega sarnane tendents. Niidukimüra olulist mõju pesakülastuste arvule ei leitud. (3) Müra mõju valvsusele ei leitud. (4) Eri tüüpi müra mõjutas erinevaid käitumistunnuseid. (5) Logeri pessa lisamine ei muutnud emaslinnu käitumist. (6) Emase pesakülastuste arv ei erinenud linnas ja metsas. Hommikul väljus emane esimest korda pesakastist varem, kuid õhtuse viimase sisenemise ja päevase aktiivsuse pikkuse vahel olulist erinevust ei leitud.

Kokkuvõte

Inimtekkeline müra levib üha laiemalt ning avaldab mõju paljudele organismidele, sealhulgas lindudele. Müra takistab suhtlust, muudab käitumist, tekitab stressi ja võib vähendada sigimisedukust. Mõju sõltub nii linnu liigist, konditsioonist, eluetapist kui ka müra tüübist ja valjusest. Müra mõju lindude sigimisele on suhteliselt vähe uuritud, eriti on tähelepanu alt välja jäänud haudumine. Samuti keskendutakse sageli ühele müratüübile, kuigi mõju sõltub ka müra omadustest. Kui enamik katseid tehakse liikluse müra kasutades, siis mootorsae ja niidukimüra mõju värvulistele pole varem uuritud.

Käesoleva töö eesmärk oli uurida eri tüüpi müra lindude haudumiskäitumisele. Müra tüüpideks valiti suhteliselt monotoonne niidukimüra ning vahelduvama amplituudiga ja ettearvamatum mootorsaemüra. Lisaks võrreldi emase haudumiskäitumist linna- ja metsatihaste vahel kasutades temperatuurilogereid ning kontrolliti logerite mõju emaslinnu käitumisele. Mudelliigiks valiti rasvatihane, kes on laialt levinud ning pesitseb erineva inim mõjuga aladel, asustades meelsasti ka pesakaste.

Töö tulemusel leiti, et eri tüüpi müral oli erinev mõju. Niidukimüra vähendas peaaegu oluliselt emase pesal oldud aega, samas kui mootorsaemüra vähendas oluliselt emase pesakülastuste arvu. See võib viidata niidukimüra häirivale või suhtlust takistavale ja mootorsaemüra hirmutavale mõjule. Linna ja metsa võrdluses leiti, et linnas väljub emane hommikul pesakastist varem, kuid õhtuse viimase sisenemise, päevase aktiivsuse pikkuse ja pesakülastuste arvu vahel erinevust ei leitud. Logeri mõju emaslinnu käitumisele samuti ei täheldatud.

Summary

The Effects of Anthropogenic Noise and Urbanization on the Incubation Behaviour of Great Tits (*Parus major*)

Anthropogenic noise is a pervasive pollutant that affects many organisms, including birds. Noise hinders vocal communication, causes changes in behaviour and elevated stress levels, and may decrease reproductive success. The effects depends on bird species, body condition, life stage, and the properties and the loudness of the noise. The effects of noise on the reproductive behaviour of birds are poorly studied, especially with regard to incubation behaviour. The available studies often focus on one type of noise, but different types of noise may have different effects.

The purpose of this study was to explore the effects of different types of noise on birds' incubation behaviour. Two different types of noise were used: quite monotonous lawn mower noise and more variable chainsaw noise. In addition, the female incubation behaviour in urban and in rural areas was compared using temperature data loggers and the effect of the loggers on female incubation behaviour was tested. The great tit was used as a model species as it is widespread and common in urban and rural areas and also readily nests in nest boxes.

The study showed, that different types of noise have different effects on great tits' incubation behaviour. The lawn mower noise had a marginally significant negative effect on females' nest attendance and the chainsaw noise significantly decreased the number of female's nest visits. This might suggest that the exposure to monotonous lawn mower noise is distracting or masks vocal communication rather than being frightening. The effect of the chainsaw noise was similar to a reaction to a predator. In the comparison of urban and rural areas, the urban great tits started the active period (the first leaving from the nest box was recorded) earlier than those in rural areas. However there was no difference between the habitats with regard to the last entrance into the nest box in the evening, the length of active time during the day, or the number of nest visits. No effect of the use of the data logger on female incubation behaviour was found.

Tänuavaldused

Tänan oma juhendajat, Vallo Tilgarit, igakülgse abi ja uskumatu kannatlikkuse eest. Olen tänulik Marko Mägile abi eest välitöödel, Art Villem Adojaanile Tartu uurimisala kaardi eest ning Tiiu Heldemale ja Sigrid Maasenile keeleliste paranduste eest. Tänan ka kõiki teisi, kes on mind soovitude ja kommentaaridega toetanud.

Kasutatud kirjandus

Viitamisel on kasutatud Elsevieri stiili.

- Amininasab, S.M., Birker, M., Kingma, S.A., Hildenbrandt, H., Komdeur, J., 2017. The effect of male incubation feeding on female nest attendance and reproductive performance in a socially monogamous bird. *J. Ornithol.* 158, 687–696.
<https://doi.org/10.1007/s10336-016-1427-2>
- Angelier, F., Meillère, A., Grace, J.K., Trouvé, C., Brischoux, F., 2016. No evidence for an effect of traffic noise on the development of the corticosterone stress response in an urban exploiter. *Gen. Comp. Endocrinol.* 232, 43–50.
<https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2015.12.007>
- Arroyo-Solís, A., Castillo, J.M., Figueroa, E., López-Sánchez, J.L., Slabbekoorn, H., 2013. Experimental evidence for an impact of anthropogenic noise on dawn chorus timing in urban birds. *J. Avian Biol.* 44, 288–296. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2012.05796.x>
- Basso, A., Richner, H., 2015a. Predator-Specific Effects on Incubation Behaviour and Offspring Growth in Great Tits. *PLoS ONE* 10.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121088>
- Basso, A., Richner, H., 2015b. Effects of nest predation risk on female incubation behavior and offspring growth in great tits. *Behav. Ecol. Sociobiol.* v. 69, 977–989.
<https://doi.org/10.1007/s00265-015-1910-4>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Waker, S., 2019. Linear Mixed-Effects Models using “Eigen” and S4.
- Bayne, E.M., Habib, L., Boutin, S., 2008. Impacts of Chronic Anthropogenic Noise from Energy-Sector Activity on Abundance of Songbirds in the Boreal Forest. *Conserv. Biol.* 22, 1186–1193. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00973.x>
- Bermúdez-Cuamatzin, E., Ríos-Chelén, A.A., Diego, G., Garcia, C.M., 2011. Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird. *Biol. Lett.* 7, 36–38. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0437>

- Blickley, J.L., Blackwood, D., Patricelli, G.L., 2012a. Experimental Evidence for the Effects of Chronic Anthropogenic Noise on Abundance of Greater Sage-Grouse at Leks. *Conserv. Biol.* 26, 461–471. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01840.x>
- Blickley, J.L., Word, K.R., Krakauer, A.H., Phillips, J.L., Sells, S.N., Taff, C.C., Wingfield, J.C., Patricelli, G.L., 2012b. Experimental Chronic Noise Is Related to Elevated Fecal Corticosteroid Metabolites in Lekking Male Greater Sage-Grouse (*Centrocercus urophasianus*). *PLoS ONE* 7, e50462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050462>
- Bonier, F., Moore, I.T., Martin, P.R., Robertson, R.J., 2009. The relationship between fitness and baseline glucocorticoids in a passerine bird. *Gen. Comp. Endocrinol.* 163, 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2008.12.013>
- Boucaud, I.C.A., Aguirre Smith, M.L.N., Valère, P.A., Vignal, C., 2016. Incubating females signal their needs during intrapair vocal communication at the nest: a feeding experiment in great tits. *Anim. Behav.* 122, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.09.021>
- Brischoux, F., Meillère, A., Dupoué, A., Lourdais, O., Angelier, F., 2017. Traffic noise decreases nestlings' metabolic rates in an urban exploiter. *J. Avian Biol.* 48, 905–909. <https://doi.org/10.1111/jav.01139>
- Brown, A.L., 1990. Measuring the effect of aircraft noise on sea birds. *Environ. Int.* 16, 587–592. <https://doi.org/10.1080/0964056042000284857>
- Brumm, H., 2004. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *J. Anim. Ecol.* 73, 434–440. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8790.2004.00814.x>
- Burger, J., 1998. Effects of Motorboats and Personal Watercraft on Flight Behavior over a Colony of Common Terns. *The Condor* 100, 528–534. <https://doi.org/10.2307/1369719>
- Cardoso, G.C., Atwell, J.W., 2011. On the relation between loudness and the increased song frequency of urban birds. *Anim. Behav.* 82, 831–836. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.07.018>
- Cartwright, L.A., Taylor, D.R., Wilson, D.R., Chow-Fraser, P., 2014. Urban noise affects song structure and daily patterns of song production in Red-winged Blackbirds (*Agelaius phoeniceus*). *Urban Ecosyst.* 17, 561–572. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0318-z>
- Chan, A.A.Y.-H., Blumstein, D.T., 2011. Attention, noise, and implications for wildlife conservation and management. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 131, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.01.007>

- Chloupek, P., Voslářová, E., Chloupek, J., Bedáňová, I., Pištěková, V., Večerek, V., 2009. Stress in Broiler Chickens Due to Acute Noise Exposure. *Acta Vet. Brno* 78, 93–98. <https://doi.org/10.2754/avb200978010093>
- Conomy, J.T., Dubovsky, J.A., Collazo, J.A., Fleming, W.J., 1998. Do Black Ducks and Wood Ducks Habituate to Aircraft Disturbance? *J. Wildl. Manag.* 62, 1135. <https://doi.org/10.2307/3802568>
- Conway, C.J., Martin, T.E., 2000. Evolution of passerine incubation behavior: influence of food, temperature, and nest predation. *Evolution* 54, 670–685. [https://doi.org/10.1554/0014-3820\(2000\)054\[0670:EOPIBI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1554/0014-3820(2000)054[0670:EOPIBI]2.0.CO;2)
- Corsini, M., Dubiec, A., Marrot, P., Szulkin, M., 2017. Humans and Tits in the City: Quantifying the Effects of Human Presence on Great Tit and Blue Tit Reproductive Trait Variation. *Front. Ecol. Evol.* 5. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00082>
- Cramp, S., Perrins, C.M., 1993. Great Tit, in: *The Birds of the Western Palearctic*. Oxford University Press.
- de Heij, M.E., van den Hout, P.J., Tinbergen, J.M., 2006. Fitness cost of incubation in great tits (*Parus major*) is related to clutch size. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 2353–2361. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3584>
- de Heij, M.E., van der Graaf, A.J., Hafner, D., Tinbergen, J.M., 2007. Metabolic rate of nocturnal incubation in female great tits, *Parus major*, in relation to clutch size measured in a natural environment. *J. Exp. Biol.* 210, 2006–2012. <https://doi.org/10.1242/jeb.001420>
- de Jong, M., Jenning, L., Ouyang, J.Q., van Oers, K., Spoelstra, K., Visser, M.E., 2016. Dose-dependent responses of avian daily rhythms to artificial light at night. *Physiol. Behav.* 155, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.012>
- Delaney, D., Pater, L., Grubb, T., Reiser, M.H., Beier, P., 1999. Spotted Owl reactions to helicopter and chain saw noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 105, 1202–1202. <https://doi.org/10.1121/1.425661>
- Dominoni, D.M., Greif, S., Nemeth, E., Brumm, H., 2016. Airport noise predicts song timing of European birds. *Ecol. Evol.* 6, 6151–6159. <https://doi.org/10.1002/ece3.2357>
- Dominoni, D.M., Partecke, J., 2015. Does light pollution alter daylength? A test using light loggers on free-ranging European blackbirds (*Turdus merula*). *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 370, 20140118–20140118. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0118>

- Fontaine, J.J., Martin, T.E., 2006. Parent birds assess nest predation risk and adjust their reproductive strategies: Nest predation and reproductive strategies. *Ecol. Lett.* 9, 428–434. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00892.x>
- Fox, J., Weisberg, S., Price, B., 2018. Companion to Applied Regression.
- Francis, C.D., 2015. Vocal traits and diet explain avian sensitivities to anthropogenic noise. *Glob. Change Biol.* 21, 1809–1820. <https://doi.org/10.1111/gcb.12862>
- Francis, C.D., Ortega, C.P., Cruz, A., 2011. Different behavioural responses to anthropogenic noise by two closely related passerine birds. *Biol. Lett.* 7, 850–852. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0359>
- Francis, C.D., Ortega, C.P., Cruz, A., 2009. Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions. *Curr. Biol.* 19, 1415–1419. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.06.052>
- Ghalambor, C.K., Martin, T.E., 2002. Comparative manipulation of predation risk in incubating birds reveals variability in the plasticity of responses. *Behav. Ecol.* 13, 101–108. <https://doi.org/10.1093/beheco/13.1.101>
- Goodwin, S.E., Shriver, W.G., 2010. Effects of Traffic Noise on Occupancy Patterns of Forest Birds: Birds and Traffic Noise. *Conserv. Biol.* 25, 406–411. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01602.x>
- Gross, K., Pasinelli, G., Kunc, H.P., 2010. Behavioral Plasticity Allows Short-Term Adjustment to a Novel Environment. *Am. Nat.* 176, 456–464. <https://doi.org/10.1086/655428>
- Habib, L., Bayne, E.M., Boutin, S., 2006. Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of ovenbirds *Seiurus aurocapilla*: Chronic noise and ovenbird pairing success. *J. Appl. Ecol.* 44, 176–184. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01234.x>
- Halfwerk, W., Bot, S., Slabbekoorn, H., 2012. Male great tit song perch selection in response to noise-dependent female feedback. *Funct. Ecol.* 26, 1339–1347.
- Halfwerk, W., Both, C., Slabbekoorn, H., 2016. Noise affects nest-box choice of 2 competing songbird species, but not their reproduction. *Behav. Ecol.* 27, 1592–1600. <https://doi.org/10.1093/beheco/arw095>
- Halfwerk, W., Holleman, L.J.M., Lessells, C.M., Slabbekoorn, H., 2011. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *J. Appl. Ecol.* 48, 210–219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01914.x>

- Halfwerk, W., Slabbekoorn, H., 2009. A behavioural mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. *Anim. Behav.* 78, 1301–1307.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.09.015>
- Hauser, M.D., Caffrey, C., 1994. Anti-predator response to raptor calls in wild crows, *Corvus brachyrhynchos hesperis*. *Anim. Behav.* 48, 1469–1471.
<https://doi.org/10.1006/anbe.1994.1386>
- Hayward, L.S., Bowles, A.E., Ha, J.C., Wasser, S.K., 2011. Impacts of acute and long-term vehicle exposure on physiology and reproductive success of the northern spotted owl. *Ecosphere* 2. <https://doi.org/10.1890/ES10-00199.1>
- Heidinger, B.J., Blount, J.D., Boner, W., Griffiths, K., Metcalfe, N.B., Monaghan, P., 2012. Telomere length in early life predicts lifespan. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 1743–1748.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1113306109>
- Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E., Bounoua, L., 2010. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sens. Environ.* 114, 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>
- Jankowski, M.D., Franson, J.C., Möstl, E., Porter, W.P., Hofmeister, E.K., 2010. Testing independent and interactive effects of corticosterone and synergized resmethrin on the immune response to West Nile virus in chickens. *Toxicology* 269, 81–88.
<https://doi.org/10.1016/j.tox.2010.01.010>
- Jones, G., 1987. Time and Energy Constraints During Incubation in Free-Living Swallows (*Hirundo rustica*): An Experimental Study Using Precision Electronic Balances. *J. Anim. Ecol.* 56, 229. <https://doi.org/10.2307/4812>
- Karp, D.S., Root, T.L., 2009. Sound the stressor: how Hoatzins (*Opisthocomus hoazin*) react to ecotourist conversation. *Biodivers. Conserv.* 18, 3733.
<https://doi.org/10.1007/s10531-009-9675-6>
- Kesar, A., 2014. Effect of prenatal chronic noise exposure on the growth and development of body and brain of chick embryo. *Int. J. Appl. Basic Med. Res.* 4, 3.
<https://doi.org/10.4103/2229-516X.125666>
- Kight, C.R., Swaddle, J.P., 2011. How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review. *Ecol. Lett.* 14, 1052–1061.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01664.x>
- Kleist, N.J., Guralnick, R.P., Cruz, A., Francis, C.D., 2017. Sound settlement: noise surpasses land cover in explaining breeding habitat selection of secondary cavity-nesting birds. *Ecol. Appl.* 27, 260–273. <https://doi.org/10.1002/eap.1437>

- Kleist, N.J., Guralnick, R.P., Cruz, A., Lowry, C.A., Francis, C.D., 2018. Chronic anthropogenic noise disrupts glucocorticoid signaling and has multiple effects on fitness in an avian community. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, E648–E657.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1709200115>
- Klett-Mingo, J.I., Pavón, I., Gil, D., 2016. Great tits, *Parus major*, increase vigilance time and reduce feeding effort during peaks of aircraft noise. *Anim. Behav.* 115, 29–34.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.02.021>
- Kluijver, H.N., 1950. Daily Routines of the Great Tit, *Parus m. major* L. *Ardea* 99–135.
<https://doi.org/10.5253/arde.v38.p99>
- Lenth, R., 2018. Least-Squares Means.
- Leonard, M.L., Horn, A.G., 2012. Ambient noise increases missed detections in nestling birds. *Biol. Lett.* 8, 530–532. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0032>
- Leonard, M.L., Horn, A.G., 2008. Does ambient noise affect growth and begging call structure in nestling birds? *Behav. Ecol.* 19, 502–507.
<https://doi.org/10.1093/beheco/arm161>
- Luther, D., Baptista, L., 2010. Urban noise and the cultural evolution of bird songs. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 277, 469–473. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1571>
- Lyon, B.E., Montgomerie, R.D., 1985. Incubation feeding in snow buntings: female manipulation or indirect male parental care? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 17, 279–284.
<https://doi.org/10.1007/BF00300147>
- Maa-amet, 2019. Mürakaart.
- Mahjoub, G., Hinders, M.K., Swaddle, J.P., 2015. Using a “sonic net” to deter pest bird species: Excluding European starlings from food sources by disrupting their acoustic communication. *Wildl. Soc. Bull.* 39, 326–333. <https://doi.org/10.1002/wsb.529>
- Manabe, K., Sadr, E.I., Dooling, R.J., 1998. Control of vocal intensity in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*): Differential reinforcement of vocal intensity and the Lombard effect. *J. Acoust. Soc. Am.* 103, 1190–1198.
<https://doi.org/10.1121/1.421227>
- Martin, T.E., Ghalambor, C.K., 1998. Males Feeding Females during Incubation. I. Required by Microclimate or Constrained by Nest Predation? *Am. Nat.* 153, 9.
- Matysioková, B., Cockburn, A., Remeš, V., 2011. Male incubation feeding in songbirds responds differently to nest predation risk across hemispheres. *Anim. Behav.* 82, 1347–1356. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.09.018>

- Matysioková, B., Remeš, V., 2010. Incubation Feeding and Nest Attentiveness in a Socially Monogamous Songbird: Role of Feather Colouration, Territory Quality and Ambient Environment. *Ethology* 116, 596–607. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2010.01776.x>
- Meillère, A., Brischoux, F., Angelier, F., 2015a. Impact of chronic noise exposure on antipredator behavior: an experiment in breeding house sparrows. *Behav. Ecol.* 26, 569–577. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru232>
- Meillère, A., Brischoux, F., Ribout, C., Angelier, F., 2015b. Traffic noise exposure affects telomere length in nestling house sparrows. *Biol. Lett.* 11, 20150559. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0559>
- Mendes, S., Colino-Rabanal, V.J., Peris, S.J., 2011. Bird song variations along an urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*). *Landsc. Urban Plan.* 99, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.08.013>
- Mockford, E.J., Marshall, R.C., 2009. Effects of urban noise on song and response behaviour in great tits. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 276, 2979–2985. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0586>
- Mulholland, T.I., Ferraro, D.M., Boland, K.C., Ivey, K.N., Le, M.-L., LaRiccia, C.A., Vigianelli, J.M., Francis, C.D., 2018. Effects of Experimental Anthropogenic Noise Exposure on the Reproductive Success of Secondary Cavity Nesting Birds. *Integr. Comp. Biol.* <https://doi.org/10.1093/icb/icy079>
- Nemeth, E., Brumm, H., 2009. Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization? *Anim. Behav.* 78, 637–641. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.06.016>
- Oberweger, K., Goller, F., 2001. The metabolic cost of birdsong production. *J. Exp. Biol.* 204, 3379–3388.
- O'Hara, R.B., Kotze, D.J., 2014. Do not log-transform count data. *Methods Ecol. Evol.* 118–122. [https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00021.x@10.1111/\(ISSN\)2041-210X.TOPMETHODS](https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00021.x@10.1111/(ISSN)2041-210X.TOPMETHODS)
- Ortega, C.P., 2012. Effects of Noise Pollution on Birds: a Brief Review of Our Knowledge. *Ornithol. Monogr.* 74, 6–22.
- Ouyang, J.Q., Muturi, M., Quetting, M., Hau, M., 2013. Small increases in corticosterone before the breeding season increase parental investment but not fitness in a wild passerine bird. *Horm. Behav.* 63, 776–781. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2013.03.002>

- Perrins, C.M., 1979. British tits. William Collins Sons & Co Ltd, Glasgow.
- Pohl, N.U., Leadbeater, E., Slabbekoorn, H., Klump, G.M., Langemann, U., 2012. Great tits in urban noise benefit from high frequencies in song detection and discrimination. *Anim. Behav.* 83, 711–721. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.12.019>
- Potvin, D.A., MacDougall-Shackleton, S.A., 2015. Traffic noise affects embryo mortality and nestling growth rates in captive zebra finches. *J. Exp. Zool. Part Ecol. Genet. Physiol.* 323, 722–730. <https://doi.org/10.1002/jez.1965>
- Quinn, J.L., Whittingham, M.J., Butler, S.J., Cresswell, W., 2006. Noise, predation risk compensation and vigilance in the chaffinch *Fringilla coelebs*. *J. Avian Biol.* 37, 601–608. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0908-8857.03781.x>
- R Core Team, 2017. R. The R Foundation for Statistical Computing.
- Raap, T., Pinxten, R., Eens, M., 2016. Artificial light at night disrupts sleep in female great tits (*Parus major*) during the nestling period, and is followed by a sleep rebound. *Environ. Pollut.* 215, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.100>
- Salmón, P., Nilsson J., F., Nord, A., Bensch, S., Isaksson, C., 2016. Urban environment shortens telomere length in nestling great tits, *Parus major*. *Biol. Lett.* 12. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0155>
- Sanyal, T., Kumar, V., Nag, T.C., Jain, S., Sreenivas, V., Wadhwa, S., 2013. Prenatal Loud Music and Noise: Differential Impact on Physiological Arousal, Hippocampal Synaptogenesis and Spatial Behavior in One Day-Old Chicks. *PLOS ONE* 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067347>
- Schoenle, L.A., Dudek, A.M., Moore, I.T., Bonier, F., 2017. Red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus*) with higher baseline glucocorticoids also invest less in incubation and clutch mass. *Horm. Behav.* 90, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2017.02.002>
- Schroeder, J., Nakagawa, S., Cleasby, I.R., Burke, T., 2012. Passerine Birds Breeding under Chronic Noise Experience Reduced Fitness. *PLoS ONE* 7, e39200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039200>
- Sepp, T., McGraw, K.J., Kaasik, A., Giraudeau, M., 2018. A review of urban impacts on avian life-history evolution: Does city living lead to slower pace of life? *Glob. Change Biol.* 24, 1452–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.13969>
- Skutch, A.F., 1957. The Incubation Patterns of Birds. *Ibis* 99, 69–93. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1957.tb01934.x>
- Slabbekoorn, H., den Boer-Visser, A., 2006. Cities Change the Songs of Birds. *Curr. Biol.* 16, 2326–2331. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.10.008>

- Slabbekoorn, H., Ripmeester, E.A.P., 2008. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Mol. Ecol.* 17, 72–83.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03487.x>
- Swaddle, J.P., Page, L.C., 2007. High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution. *Anim. Behav.* 74, 363–368.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.01.004>
- Telve, K., 2018. Rasvatihane, in: *Linnuatlas. Eesti haudelindude levik ja arvukus*. Eesti Ornitoloogiaühing, Tartu, pp. 360–361.
- Tempel, D.J., Gutierrez, R.J., 2003. Fecal Corticosterone Levels in California Spotted Owls Exposed to Low-Intensity Chainsaw Sound. *Wildl. Soc. Bull.* 31, 698–702.
- Tilgar, V., Ojaste, I., Saag, P., 2015. Metsise (*Tetrao urogallus*) stressitase seoses sõjaliste harjutustega. *Hirundo* 1, 1–9.
- Timm, K., 2018. Effects of two genes (DRD4 and SERT) on great tit (*Parus major*) behaviour and reproductive traits. Tartu Ülikool, Tartu.
- Venables, W.N., Ripley, B.D., Isbn, S., 2002. *Statistics Complements to Modern Applied Statistics with S* Fourth edition by.
- Viigipuu, R., Tilgar, V., 2017. Inimtekkelise müra mõju lindude kommunikatsioonile ja kohasusele. *Hirundo* 30, 21.
- Villain, A.S., Fernandez, M.S.A., Bouchut, C., Soula, H.A., Vignal, C., 2016. Songbird mates change their call structure and intrapair communication at the nest in response to environmental noise. *Anim. Behav.* 116, 113–129.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.03.009>
- Weathers, W.W., Sullivan, K.A., 1989. Nest Attentiveness and Egg Temperature in the Yellow-Eyed Junco. *The Condor* 91, 628. <https://doi.org/10.2307/1368113>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Riin Viigipuu

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Inimtekkelise müra ja linnastumise mõju rasvatihase (Parus major) käitumisele
haudumisperioodil

mille juhendaja on Vallo Tilgar

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace
kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu
Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i
litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja
üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni
autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Riin Viigipuu

24.05.2019